



(19)

Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

EP 0 997 229 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
03.05.2000 Patentblatt 2000/18

(51) Int Cl. 7: B24B 35/00, B24B 5/42,  
B24B 21/02

(21) Anmeldenummer: 99121202.8

(22) Anmeldetag: 23.10.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:  

- Nagel, Wolf  
72631 Aichtal-Aich (DE)
- Renz, Bernd, Dr.  
71729 Erdmannhausen (DE)

(30) Priorität: 31.10.1998 DE 19850216

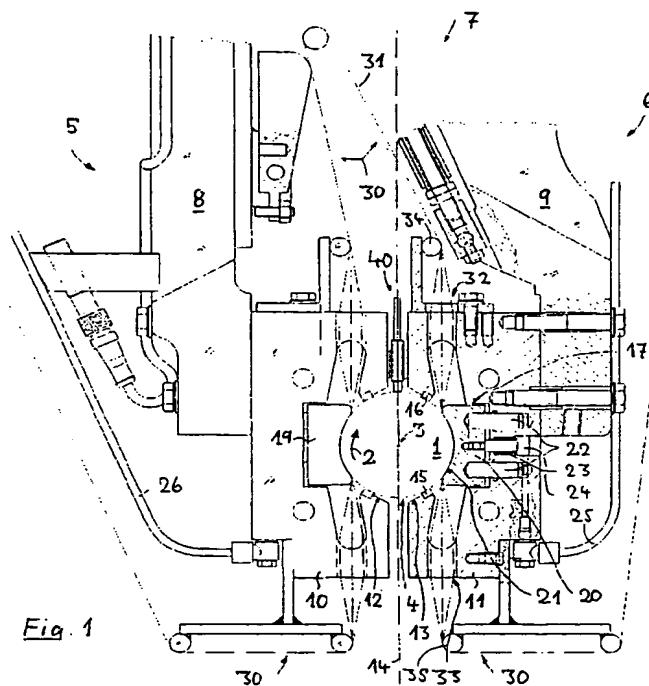
(74) Vertreter: Patentanwälte  
Ruff, Beier, Schöndorf und Mütschele  
Willy-Brandt-Strasse 28  
70173 Stuttgart (DE)

(71) Anmelder: Nagel Maschinen- und  
Werkzeugfabrik GmbH  
72607 Nürtingen (DE)

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Feinbearbeitung von im wesentlichen zylindrischen Werkstückoberflächen

(57) Eine Bandfinishvorrichtung hat eine symmetrische Anordnung von zwei diametral gegenüberliegenden, schalenförmigen Abstützorganen (10, 11), die sich jeweils über zwei Führungsleisten (15, 16) direkt auf dem zu bearbeiteten Werkstück abstützen. Jedes Abstützorgan hat einen separaten Andruckschuh (19, 20),

der in dem Abstützorgan linear geführt ist. Die sich an den Abstützorganen abstützenden, in Umfangsrichtung gegeneinander versetzt angeordneten Andrückelemente sind unabhängig voneinander betätigbar. Zur Bearbeitung können alle Andrückelemente Finishband andrücken oder es können einzelne oder alle Andrückelemente abgehoben werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Feinbearbeitung von im wesentlichen zylindrischen Werkstückoberflächen, insbesondere Werkstückaußenflächen.

**[0002]** Die zunehmende Leistungssteigerung von Verbrennungsmotoren durch höhere Verdichtung und schnellere Drehzahlen bringt u.a. die Forderung nach Verschleißminderung von Lagerstellen, um bessere Laufqualitäten zu erhalten. Hierzu ist es beispielsweise bekannt, die im wesentlichen zylindrischen oder axial leicht gewölbten Hauptlager und Hublager von Kurbelwellen oder Nockenwellen nach dem Schleifen einer zusätzlichen Feinbearbeitungsbehandlung zu unterziehen, um die Oberfläche nach Struktur, Rauigkeit und Traganteil noch weiter zu verfeinern. Hierfür haben sich besonders das Außenhonen und das Bandfinishen bewährt. Beim Honen werden als abrasive Feinbearbeitungsmittel Honsteine oder Diamantleisten eingesetzt, die an die relativ zum Feinbearbeitungsmittel drehend und kurzhubig axial bewegte Werkstückoberfläche angedrückt werden. Beim Bandfinishen wird ein Schleifband oder Polierband als Feinbearbeitungsmittel eingesetzt. Ein formgerecht ausgebildetes Andrückelement, das selbst keinem Verschleiß unterliegt, drückt das Schleifband über einen geeigneten Umschlingungswinkel an die drehende und axial oszillierende Werkstückoberfläche an.

**[0003]** Es sind schon zahlreiche Vorschläge gemacht worden, wie bei diesen Verfahren die Qualität der bearbeiteten Werkstückoberfläche verbessert werden kann. Eine aus der Deutschen Patentschrift DE 30 08 606 bekannte Vorrichtung zum Außenhonen von exzentrisch umlaufenden Kurbelwellen-Hubzapfen hat einen Drehantrieb für die zu bearbeitende Kurbelwelle und einen von dem orbital umlaufenden Kurbelwellen-Hubzapfen mitgeführten Träger mit zwei Trägerhälften, die sich über Abstützorgane direkt an der Werkstückoberfläche abstützen und mit großer Kraft an diese anpreßbar sind. Eine der Trägerhälften dient ausschließlich der Abstützung, während die andere Trägerhälfte ein Honwerkzeug aufweist, das sich unter Abstützung an einem Trägerarm an die zu bearbeitende Oberfläche andrücken läßt und über einen Schwingantrieb oszillierend antreibbar ist. Zur Verbesserung der Oberflächenqualität wird vorgeschlagen, die Hälften des Trägers relativ zueinander höhenverstellbar auszubilden, damit sich diese exakt auf das zu bearbeitende Werkstück einstellen lassen. Die Vorrichtung bringt sehr gute Bearbeitungsergebnisse. Für eine üblicherweise erforderliche mehrstufige Bearbeitung mit Vorhonen und Fertighonen müssen die Träger zur Auswechslung des Honwerkzeuges geöffnet werden. Anschließend kann ggf. eine erneute Höhenverstellung erforderlich sein. Das Verfahren bis zum Erreichen einer gewünschten Oberflächenqualität kann daher zeitaufwendig sein.

**[0004]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein

Verfahren sowie eine Vorrichtung der genannten Art vorzuschlagen, die es ermöglichen, eine angestrebte Oberflächenqualität schnell und zuverlässig zu erreichen, insbesondere auch bei orbital umlaufenden Werkstückoberflächen.

**[0005]** Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung ein Verfahren nach Anspruch 1 sowie eine Vorrichtung nach Anspruch 11 vor.

**[0006]** Erfindungsgemäß wird mindestens ein sich direkt an der Werkstückoberfläche abstützendes Abstützorgan an die Werkstückoberfläche angedrückt. Es werden mindestens zwei in Umlangsrichtung der Werkstückoberfläche versetzt angeordnete, sich direkt oder indirekt an einem Abstützorgan abstützende, unabhängig voneinander betätigbare Andrückelemente zum Andücken von Feinbearbeitungsmittel, insbesondere Schleifband, an die Werkstückoberfläche bereitgestellt. Es wird eine Relativbewegung von Werkstück und Feinbearbeitungsmittel um eine koaxial mit der Werkstückoberfläche verlaufende Bearbeitungssachse erzeugt, der vorzugsweise eine kurzhubige Relativbewegung in Axialrichtung überlagert ist. Die Andrückelemente werden derart betätigt, daß wahlweise keines der Andrückelemente, ein Andrückelement oder mehrere Andrückelemente Feinbearbeitungsmittel an die Werkstückoberfläche andrücken.

**[0007]** Dieses Verfahren, bei dem sowohl Honsteine oder dergleichen, als auch Schleifband als Feinbearbeitungsmittel entweder alternativ oder in Kombination verwendbar sind, zeichnet sich durch eine hohe Variabilität der Prozeßführung aus, wodurch praktisch jede geforderte Oberflächenqualität schnell und zuverlässig erreicht werden kann. Durch das normalerweise mit großer Kraft erfolgende Andücken von Abstützorganen an die Werkstückoberfläche kann erreicht werden, daß die auf das Feinbearbeitungsmittel wirkende Anpreßkraft, die durch ein sich am Abstützorgan oder an einem mit einem Abstützorgan fest verbundenen Teil der Vorrichtung abstützendes Andrückelement erzeugt wird, nicht

durch dynamische Zusatzkräfte beeinflußt wird, wie sie insbesondere bei exzentrisch umlaufenden Werkstückabschnitten, wie Kurbelwellen-Hubzapfen, auftreten. Durch einen ungleichförmigen Verlauf der dynamischen Kräfte während einer Werkstückumdrehung können ohne entsprechende Abstützorgane auf der Werkstückoberfläche Zonen mit unterschiedlicher Anpreßkraft für das Feinbearbeitungsmittel entstehen, und damit auch unterschiedliche große Abträge. Durch die Abstützung auf der Werkstückoberfläche werden diese trügheitsbedingten dynamischen Zusatzkräfte von den Abstützorganen bzw. von den Abstützorganen tragenden Trägern aufgenommen, so daß die für die Bearbeitung erforderliche, durch die Andrückelemente aufzubringende Kraft von dynamischen Zusatzkräften unbeeinflußt bleibt.

Damit ist auch bei höheren Werkstückdrehzahlen, die für eine schnelle Bearbeitung vorteilhaft sind, ohne Zusaufwand, beispielsweise ohne eine aktive Kompenstation der Zusatzkräfte durch mechanische oder elek-

tronische Meisterwellen, ein gleichmäßiger Werkstoffabtrag am Werkstückumfang gewährleistet.

[0008] Durch die Bereitstellung mehrerer im gleichen Axialbereich wirkender, jedoch in Umfangsrichtung der Werkstückoberfläche versetzt angeordneter, unabhängig voneinander betätigbarer Andrückelemente ist die Abtragscharakteristik sehr variabel einstellbar. So ist es beispielsweise möglich, daß durch mindestens zwei unterschiedliche, vorzugsweise unabhängig voneinander betätigbare Andrückelemente nach Art und/oder Körnung bzw. Abtragsleistung unterschiedliche Feinbearbeitungsmittel gleichzeitig oder abwechselnd angedrückt werden, wodurch pro Umlauf eine bisher nicht ohne weiteres mögliche Mischbearbeitung ermöglicht wird. Insbesondere ist es möglich, daß ohne Unterbrechung der Relativbewegung von Werkstück und Feinbearbeitungsmittel und/oder ohne Abheben von Abstützorganen von dem Werkstück zuerst durch ein erstes Andrückelement ein erstes Feinbearbeitungsmittel angedrückt wird, daß danach das erste Andrückelement druckentlastet, insbesondere zurückgezogen wird und daß danach durch ein zweites Andrückelement ein zweites Feinbearbeitungsmittel angedrückt wird, das vorzugsweise eine andere, insbesondere feinere Körnung als das erste Feinbearbeitungsmittel hat. Es ist also möglich, eine Vorbearbeitung und Fertigbearbeitung eines Werkstückes in einem Arbeitsgang zu erreichen, ohne daß zum Wechseln von Feinbearbeitungsmittel die Vorrichtung geöffnet oder der Bearbeitungsvorgang auf andere Weise unterbrochen werden muß.

[0009] Es ist möglich, daß ein Andrückelement während der Feinbearbeitung bzw. Relativbewegung zwischen Andrückphasen zeitweise vom Feinbearbeitungsmittel oder, bei am Andrückelement fest angebrachtem Feinbearbeitungsmittel, von der Werkstückoberfläche abgehoben wird. Hierdurch kann beispielsweise bei Verwendung von flüssigen Bearbeitungshilfsmitteln, wie Honöl, eine bessere Spülung des Feinbearbeitungsmittels erreicht werden, wodurch dessen Schneidfreudigkeit länger erhalten bleibt und höhere Abtragsleistungen erzielbar sind. Des Weiteren können die bei herkömmlichen Verfahren bekannten Freispülfehle fekt stark reduziert werden, bei denen z.B. im Bereich von Schmierbohrungen in der Werkstückoberfläche eine intensivere Freispülung erfolgt, was dort zu lokal höheren Abträgen und damit zu Formfehlem führt. Während einer Phase mit abgehobenem Andrückelement kann das diesem zugeordnete Feinbearbeitungsmittel vorteilhaft auch mindestens teilweise durch anderes Feinbearbeitungsmittel, insbesondere unverbrauchtes Feinbearbeitungsmittel der gleichen Art, ersetzt werden, insbesondere durch Nachziehen von Finishband.

[0010] Bei einer Weiterbildung kann vorgesehen werden, daß bei mindestens einem Andrückelement, vorzugsweise bei mindestens zwei voneinander unabhängig betätigbaren Andrückelementen, Feinbearbeitungsmittel, insbesondere Schleifband, mit einem in Axialrichtung des Werkstückes variierenden Anpreßdruck und/

oder mit in Axialrichtung variierender Abtragsleistung angedrückt wird. Die Variation ist vorteilhaft kontinuierlich bzw. stufenlos, wodurch bei der fertig bearbeiteten Werkstückoberfläche in Umfangsrichtung verlaufende Unebenheiten wie Rillen oder Stufen vermieden werden können. Die Variation kann erzeugt werden, indem z.B. Schleifband mit in axialer Richtung variierender elastischer Nachgiebigkeit angedrückt wird. Ein in Axialrichtung variierender Anpreßdruck in einem Bearbeitungsabschnitt bietet die Möglichkeit, beispielsweise bei einem Kurbelwellenlager eine unerwünschte Konizität durch verstärkte Abtragung im Bereich größeren Querschnitts schnell und zuverlässig zu beseitigen oder andere Abweichungen von einer angestrebten, beispielsweise zylindrischen Idealform zu beseitigen. Andererseits wird es auch möglich, beispielsweise eine gewünschte Balligkeit eines Lagerabschnittes zu erzeugen, indem in den den Kurbelwangen nahen Randbereichen des Bearbeitungsabschnittes mit größerem Anpreßdruck bzw. höhere Abtragsleistung gearbeitet wird als im dazwischenliegenden Mittelbereich. Zur Erzeugung einer gewünschten Balligkeit kann es beispielsweise so sein, daß durch mindestens ein Andrückelement Feinbearbeitungsmittel, wie Schleifband, derart angedrückt wird, daß der Anpreßdruck und/oder die Abtragsleistung von einem Mittelbereich des Bearbeitungsabschnittes zu axialen Randbereichen des Bearbeitungsabschnittes, vorzugsweise kontinuierlich und/oder symmetrisch zum Mittelbereich zunimmt oder es kann beispielsweise zur Reduzierung einer unerwünschten Balligkeit so sein, daß der Anpreßdruck und/oder die Abtragsleistung vom Mittelbereich zu den Randbereichen vorzugsweise kontinuierlich und/oder symmetrisch zum Mittelbereich abnimmt.

[0011] Bei einer Weiterbildung ist es möglich, daß mindestens ein Andrückelement während der Feinbearbeitung mit einem durch eine Andrucksteuerung vor gebaren, kontinuierlich oder diskontinuierlich wechselnden Anpreßdruck beaufschlagt wird, der insbesondere hydraulisch, ggf. aber auch piezoelektrisch, elektromechanisch und/oder pneumatisch erzeugt werden kann. Als besonders vorteilhaft hat es sich herausgestellt, wenn mindestens ein Andrückelement während der Feinbearbeitung mit pulsierendem Anpreßdruck beaufschlagt wird, wobei der Druckverlauf beispielsweise sinusförmig, rechteckförmig oder sägezahnförmig sein kann und ggf. die Pulsfrequenz, die z.B. zwischen 2 und 100 Andrückphasen pro Umdrehung betragen kann, spezifisch angepaßt werden kann. Vorzugsweise können mehrere oder alle Andrückelemente gleichzeitig mit pulsierendem Anpreßdruck betrieben werden. Eine pulsierende Anpressung kann, ggf. auch ohne vollständige Druckentlastung, zur besseren Spülung des Feinbearbeitungsmittels genutzt werden.

[0012] Eine weitere vorteilhafte Bearbeitungsvariante zeichnet sich dadurch aus, daß alle Andrückelemente bei drehendem Werkstück derart druckentlastet, insbesondere abgehoben werden, daß sich nur Abstützorga-

ne auf der Werkstückoberfläche abstützen. Versuche zur Auswirkung der Abstützorgane auf die Oberflächenbeschaffenheit der bearbeiteten Werkstücke haben gezeigt, daß durch diesen "Leerlauf" ohne angedrückte, materialabtragende, Feinbearbeitungsmittel Rauheitsspitzen der bearbeiteten Oberfläche noch etwas geglättet werden können, so daß ein noch geringerer Ra-Wert und ein höherer Traganteil erreicht werden kann, ohne daß meßbare Veränderungen der Makroform des bearbeiteten Bereiches auftreten.

[0013] Bei einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, daß die Form und/oder Oberflächenbeschaffenheit der bearbeiteten Werkstückoberfläche während der Relativbewegung mittels mindestens einer Sensorsignale abgebenden, vorzugsweise berührungslos arbeitenden Sensoreinrichtung erfaßt wird und daß der Anpreßdruck mindestens eines Andrückelementes in Abhängigkeit von den Sensorsignalen gesteuert wird. Durch den Einsatz einer derartigen Inprozeß-Meßsteuerung, durch die beispielsweise die Höhe und/oder die Verteilung von Anpreßdrücken an unterschiedlichen Stellen entlang des Bearbeitungsumfangs unabhängig gesteuert werden kann, kann beispielsweise während der Bearbeitung das Rundheitsprofil eines Werkstückes aufgezeichnet und in der Weise ausgewertet werden, daß an den relativen Hochpunkten des Profils das Feinbearbeitungsmittel mit höherem Anpreßdruck angepreßt wird als an Tiefpunkten. Hierdurch lassen sich auch langwellige Rundheitsfehler korrigieren. Als Stellglied einer derartigen meßwertabhängigen Anpreßdrucksteuerung eignet sich ein Andrückelement besonders gut, da dieses als Stellelement eine wesentlich geringere bewegte Masse aufweist als beispielsweise ein gesamter Druckarm einer Bandfinish- oder Honmaschine und weil der Anpreßdruck ohne jede Rücksicht auf die über das Abstützorgan abgeleiteten dynamischen Zusatzkräfte variiert werden kann.

[0014] Die Meßwertsteuerung bietet in Verbindung mit der Abstützung direkt am Werkstück einen weiteren großen Vorteil. Beim meßwertgesteuerten Bearbeiten wird herkömmlich bei erreichtem Sollmaß der Bearbeitungsprozeß dadurch abgebrochen, daß die jeweilige Vorrichtung geöffnet und damit das Feinbearbeitungsmittel von der Oberfläche abgezogen wird. Beim Bearbeiten von exzentrisch umlaufenden Lagerstellen, wie Hubzapfen, bedeutet dies jedoch, daß zuerst das Werkstück stillgesetzt werden muß, bevor die Vorrichtung geöffnet werden darf. Bei der Erfindung dagegen kann der Bearbeitungsprozeß für einen fertig bearbeiteten axialen Abschnitt dadurch beendet werden, daß die zugeordneten Andrückelemente druckentlastet bzw. abgehoben werden, während zugehörige Abstützorgane weiter an die Werkstückoberfläche angepreßt bleiben, so daß die Vorrichtung dem exzentrisch umlaufenden Abschnitt folgen kann. Auf diese Weise ist es z.B. möglich, bei der Bearbeitung einer Kurbelwelle für jeden axialen Bearbeitungsabschnitt gesondert bei Erreichen des Sollmasses die Bearbeitung abzubrechen, wäh-

rend sie an anderen Stellen noch weitergeführt wird.

[0015] Eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung hat mindestens ein zur direkten Abstützung auf der Werkstückoberfläche ausgebildetes Ab-

5 stützorgan, mindestens zwei in Umfangsrichtung des Werkstückes versetzt angeordnete, sich an einem Abstützorgan direkt oder indirekt abstützende, separat bzw. voneinander unabhängig betätigbare Andrückelemente zum Andrücken von Feinbearbeitungsmittel an die Werkstückoberfläche und Mittel zur Erzeugung einer Relativbewegung zwischen Werkstück und Feinbearbeitungsmittel um eine koaxial mit der Werkstückoberfläche verlaufende Bearbeitungssachse, der vorzugsweise eine kurzhubige Relativbewegung in Axialrichtung überlagert ist.

[0016] Obwohl ein einziges Abstützorgan ausreichen kann, hat eine bevorzugte Ausführungsform mehrere, vorzugsweise gleichmäßig um den Umfang verteilte Ab-

20 stützorgane, von denen jedem mindestens ein, vorzugsweise nur ein Andrückelement zugeordnet ist. Hierdurch läßt sich eine besonders gleichmäßige Kräfteverteilung bei der Bearbeitung erzielen. Bevorzugt ist eine Ausführungsform mit zwei im Betrieb diametral zur Bearbeitungssachse gegenüberliegenden, im wesentlichen

25 formidentischen und vorzugsweise im wesentlichen spiegelsymmetrisch zu einer Spiegelebene der Vorrichtung anordnenbaren Abstützorganen. Diese können an einer gemeinsamen, zweiarmigen Trägervorrichtung angeordnet sein, die, beispielsweise für einen Werk-

30 stückwechsel, aufschwenkbar sein kann.

[0017] Ein Abstützorgan kann sich über einen oder mehrere Abstütz-Oberflächenabschnitte direkt am Werkstück abstützen. Bevorzugt ist es, wenn es sich über mindestens ein, vorzugsweise mehrere, insbesondere auswechselbar an einem beispielsweise schalenförmigen Körper des Abstützorganes angebrachte gesonderte Abstützelemente direkt an der Werkstückoberfläche abstützt. Als Abstützelemente können Rollen oder Walzen vorgesehen sein. Bevorzugt sind Ab-

40 stützelemente in Form axial verlaufender Führungsleisten, die zumindest in einem der Werkstückoberfläche zugewandten Oberflächenabschnitt aus einem harten, verschleißfesten Werkstoff bestehen, um einen dauerhaften Gleitkontakt zur Werkstückoberfläche unter großen Anpreßdruck standhalten zu können. Die in Berührungskontakt mit der Werkstückoberfläche tretende Ab-

45 stützfläche ist vorzugsweise glatt bzw. wirkt im wesentlichen nicht-abrasiv, so daß eine materialabtragende Bearbeitung im wesentlichen nur dort stattfindet, wo Feinbearbeitungsmittel durch die Andrückelemente an die Werkstückoberfläche gedrückt wird. Im Bereich von Abstützelementen kann jedoch ggf. eine materialverdrängende und/oder ggf. die Oberfläche verfestigende Oberflächenbearbeitung bewirkt werden oder es kann sein, daß mit losgelösten Schneidköpfen eine läppende Bearbeitung mit losem Korn bewirkt wird.

[0018] Zur Erzielung einer gleichmäßigen, kontrollierten Oberflächenbearbeitung ist vorzugsweise bei jedem

Abstützorgan mindestens ein, vorzugsweise nur ein dem zugeordneten Andrückelement vorgeschaltetes und mindestens ein, vorzugsweise nur ein dem Andrückelement nachgeschaltetes Abstützelement vorgesehen, wobei das Andrückelement vorzugsweise symmetrisch zwischen den Abstützelementen angeordnet ist. Eine Abstützung beidseitig des Andrückelementes sorgt für eine besonders kippsichere Führung. Es hat sich bewährt, wenn die Abstützelemente einen Umfangs-Winkelabstand von weniger als  $150^\circ$  und vorzugsweise mehr als  $90^\circ$  haben, wobei Winkelabstände zwischen  $100$  und  $130^\circ$ , insbesondere von ca.  $120^\circ$  bevorzugt sind. Diese sorgen für eine gute Abstützung nach allen Richtungen ohne Einklemmung des Werkstückes und bieten andererseits zwischen den Abstützbereichen genügend Raum zur Anbringung von ggf. mehreren in Umfangsrichtung versetzten und/oder ggf. in Umfangsrichtung ausgedehnten Andrückelementen.

**[0019]** Das Feinbearbeitungsmittel kann in Form eines auf das Andrückelement aufgesinterten oder aufgelöteten Belages vorliegen. Bei einer zum Bandfinishen ausgebildeten Ausführungsform ist das Feinbearbeitungsmittel ein Schleifband, das relativ zu dem Andrückelement beweglich ist. Das Andrückelement bildet vorzugsweise eine beispielsweise zylinderabschnittsformige Andrückfläche fest vorgegebener Form, die der gewünschten Form der fertig bearbeiteten Werkstückoberfläche angepaßt ist. Dabei hat es sich besonders bewährt, wenn die Andrückfläche einen Umfangswinkel von mehr als  $60^\circ$ , vorzugsweise zwischen  $70^\circ$  und  $90^\circ$ , insbesondere ca.  $80^\circ$  einschließt. Ein dadurch möglicher Schleifband-Umschlingungswinkel von mehr als  $60^\circ$  pro Andrückelement macht es möglich, daß kurzwellige Rundheitsfehler des Werkstückes selbsttätig besonders wirksam korrigiert werden können.

**[0020]** In manchen Bearbeitungssituationen, beispielsweise zur Erzeugung einer gewünschten Balligkeit eines Lagerabschnittes oder zur Beseitigung unerwünschter Konizität von idealerweise im wesentlichen zylindrischen Werkstückabschnitten ist bei einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, mindestens ein Andrückelement, vorzugsweise mindestens zwei von einander unabhängig betätigbare Andrückelemente so auszubilden, daß durch sie Feinbearbeitungsmittel, insbesondere Schleifband, mit einem in Axialrichtung des Werkstückes vorzugsweise kontinuierlich variierenden Anpreßdruck und/oder mit in Axialrichtung vorzugsweise kontinuierlich variierender Abtragsleistung andrückbar ist, wobei vorzugsweise der Anpreßdruck symmetrisch zu einem Mittelbereich eines Bearbeitungsabschnittes variiert. Das kann beispielsweise dadurch erreicht werden, daß mindestens ein Andrückelement eine Andrückfläche hat, bei der eine im wesentlichen zylindrischen Krümmung in Umfangsrichtung eine Krümmung in Axialrichtung überlagert ist. Vorzugsweise verläuft dabei die Krümmung in Axialrichtung kontinuierlich und/oder symmetrisch zu einem axialen Mittelbereich der Andrückfläche. Wenn die Krümmung in Axialrich-

tung zur Werkstückoberfläche konvex verläuft und die Andrückfläche beispielsweise im Mittelbereich der Werkstückoberfläche am nächsten ist, so ist in diesem Bereich die Abtragsleistung im Vergleich zu den axialen Randbereichen besonders groß. Umgekehrt kann bei einem Andrückelement die Andrückfläche in Axialrichtung auch von der Werkstückoberfläche weg konkav verlaufen, so daß beispielsweise im Mittelbereich der Abstand zwischen Werkstückoberfläche und Andrückfläche im Vergleich zu den Randbereichen groß ist und dort eine entsprechend niedrigere Abtragsleistung vorliegt.

**[0021]** Besonders vorteilhaft kann es sein, wenn bei mehreren in Umfangsrichtung versetzten Andrückelementen der Verlauf der Andrückfläche in Axialrichtung unterschiedlich ist, so daß beispielsweise mindestens ein Andrückelement mit einer in Axialrichtung konvex gekrümmten Andrückfläche und mindestens ein unabhängig von diesem betätigbares Andrückelement mit einer in Axialrichtung konkav gekrümmten Andrückfläche vorgesehen ist. Dadurch ist es möglich, durch Andrücken der jeweils geeigneten Andrückelemente ein gewünschtes Andruckkraftprofil in Axialrichtung einzusetzen. Das jeweils nicht benötigte Andrückelement kann dabei druckentlastet, insbesondere zurückgezogen sein.

**[0022]** Eine besonders sanft variierte Druckverteilung läßt sich dadurch erreichen, daß auf einem Andrückelement eine die Andrückfläche bildende Schicht aus elastisch komprimierbarem Material angeordnet ist, deren Schichtdicke in Axialrichtung, vorzugsweise kontinuierlich und/oder symmetrisch zu einem Mittelbereich des Bearbeitungsabschnittes, variiert. Es kann also eine in Axialrichtung entsprechend der Schichtdicke des elastischen Materials variierte elastische Nachgiebigkeit der Andrückfläche geschaffen werden. Die Schicht, die ggf. eine im wesentlichen zylinderabschnittsformige Andrückfläche bilden kann, sorgt dafür, daß die Druckverteilung in Axialrichtung im Vergleich zu einer starren Andrückfläche abgemildert wird, so daß unvorteilhafte Spitzen von Anpreßdruck und/oder Abtragsleistung vermieden werden können.

**[0023]** Eine vorteilhafte Bandführung, die es ermöglicht, daß nur das Andrückelement, nicht aber auch das Abstützorgan durch ein Schleifband unterlaufen wird, wird im Zusammenhang mit einer bevorzugten Ausführungsform näher erläutert.

**[0024]** Einige Weiterbildungen der Erfindung können auch bei Verfahren und Vorrichtungen vorteilhaft sein, bei denen in einem Axialabschnitt nur in einem einzigen Umfangsabschnitt ein oder mehrere Andrückelemente vorgesehen sind. Es sind dies insbesondere das pulsierende Andrücken mindestens eines Andrückelementes, das zeitweise Abheben mindestens eines Andrückelementes während der Feinbearbeitung, das ggf. damit verbundene Nachziehen von Schleifband in einer Abhebephase sowie die beschriebene meßwertabhängige Steuerung des Anpreßdruckes und dadurch ermöglicht-

te Verfahrensvarianten, insbesondere das Aufbringen eines axial variierenden Anpreßdruckes durch ein einzelnes Andrückelement und die selektive Beendigung des Bearbeitungsprozesses in einzelnen axialen Bearbeitungsabschnitten unter Weiterführung der Bearbeitung in anderen, noch nicht fertig bearbeiteten Abschnitten.

[0025] Diese und weitere Merkmale gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei einer Ausführungsform der Erfindung oder auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte Ausführungen darstellen können. Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 eine teilweise geschnittene Axialansicht einer Bandfinishvorrichtung, die insbesondere bei der Feinbearbeitung von Kurbelwellen-Lagerflächen einsetzbar ist und

Fig. 2 eine Draufsicht auf die in Fig. 1 gezeigte Vorrichtung und

Fig. 3 eine schematische Draufsicht auf ein Kurbelwellenlager mit zwei diametral gegenüberliegenden Andrückelementen zur Aufbringung eines in Axialrichtung variierenden Anpreßdruckes auf ein Schleifband.

[0026] In Fig. 1 ist in Axialsicht ein zylindrischer Lagerzapfen 1 einer Kurbelwelle 4 zu sehen, die von einem nicht gezeigten Drehantrieb derart um ihre Längsachse gedreht wird, daß sich der Lagerzapfen in Richtung des Pfeiles 2 um seine zentrale Längsachse 3 dreht. Wenn der Lagerzapfen 1 ein mit der Kurbelwellenlängsachse koaxialer Hauptlagerzapfen ist, so ist Längsachse 3 im wesentlichen ortsfest. Handelt es sich bei Lagerzapfen 1 dagegen um einen exzentrisch zur Kurbelwellenlängsachse angeordneten Kurbelwellen-Hubzapfen, so ist der Drehbewegung in Richtung 2 eine Orbitalbewegung des gesamten Lagerzapfens um die parallelversetzt zur Achse 3 verlaufende Kurbelwellenlängsachse überlagert.

[0027] Der Lagerzapfen 1 wird von zwei Hälften 5 bzw. 6 eines auch als Finisharm bezeichneten Trägers 7 umgeben, der zwei Arme 8 bzw. 9 aufweist. Die beiden Arme 8, 9 sind in einem nicht gezeigten Maschinenteil gegeneinander verschwenkbar gelagert. Über eine beispielsweise hydraulische Verstelleinrichtung können die beiden Arme zum Einbau des Werkstückes in die Vorrichtung geöffnet und anschließend derart geschlossen werden, daß die beiden Arme das Werkstück in der gezeigten Art einschließen. Über einen nicht gezeigten Axial-Schwingantrieb kann unter Bewegung des Werkstückes und/oder des Trägers in Axialrichtung 3 eine kurzhubige axiale Relativbewegung zwischen dem ge-

samten Träger 7 und dem Werkstück 1 erzeugt werden. Die Gesamtvorrichtung hat zur gleichzeitigen Bearbeitung von Hauptlagern und Pleuellagern mehrere in Axialrichtung nebeneinander angeordnete, an einem gemeinsamen Maschinengestell angeordnete Finish-Einheiten der gezeigten Art. Die Einheiten sind jeweils sehr schmal (Fig. 2), um gleichzeitig nebeneinanderliegende Lager bearbeiten zu können. Ihre Abmessungen sind nicht größer als die Lagerlänge zuzüglich der anteiligen (halben) axialen Abmessungen der Kurbelwangen.

[0028] Jede Trägerhälfte 5 bzw. 6 hat ein am unteren Ende des zugeordneten Armes fest angeschraubtes Abstützorgan 10 bzw. 11, das die Grundform eines in Axialrichtung 3 schmalen, hochkantstehenden Quaders (vgl. Fig. 2) mit einer dem Werkstück 1 zugewandten, kreissegmentförmigen Ausnehmung 12 bzw. 13 hat, weswegen ein Abstützorgan auch als Schale oder Finishschale bezeichnet wird. Die beiden Trägerhälften 5, 6 bzw. Abstützorgane 10, 11 sind in der gezeigten Arbeitsstellung spiegelbildlich zu einer die Längsachse 3 enthaltenden Symmetrieebene 14 angeordnet. Sie sind in der Höhe relativ zueinander festgelegt und zur Erzielung höchster Bearbeitungsgenauigkeiten in einer Vorrichtung gemeinsam konzentrisch ausgeschliffen worden.

[0029] Am Beispiel der rechten Finishschale 11 wird der Aufbau eines Abstützorgans näher erläutert. Ein Abstützorgan 11 hat im Bereich seiner Schalenausnehmung 13 zwei in einem Umfangswinkel von ca. 120° gegenüberliegender und in einem Winkel von ca. 30° zur Symmetrieebene 14 von dieser versetzt angeordnete Führungsleisten 15, 16, die jeweils aus Hartstoff bestehen, sich über die gesamte axiale Breite eines Abstützorgans erstrecken und eine im wesentlichen glatte, der Werkstückkontur angepaßte werkstückzugewandte Oberfläche haben. Sie sorgen für eine klemmfreie, direkte Abstützung des Abstützorgans auf der Werkstückoberfläche nach allen Richtungen quer zur Achse 3.

[0030] Mittig zwischen den verschleißfesten Führungsleisten ist ein als Andruckschuh 20 ausgebildetes Andrückelement aus Stahl vorgesehen, das eine zylindrisch gekrümmte, dem Werkstück zugewandte Andrückfläche 21 fest vorgegebener Form aufweist, die der gewünschten Form der fertig bearbeiteten Werkstückoberfläche angepaßt ist und sich über einen Umfangswinkel von ca. 80° werkstückkonform erstreckt. Die Andrückfläche kann, wie im gezeigten Beispiel, im wesentlichen starr, beispielsweise aus hartem Werkstoff, oder auch elastisch nachgiebig sein und beispielsweise aus einem elastisch kompressiblen Materialstück gebildet sein. Es können auch flächig verteilt elastische Bereiche neben im wesentlichen starren Bereichen vorliegen. Der Andruckschuh 20 sitzt in einer zur Ausnehmung 13 geöffneten Rechteckausnehmung 17 des Abstützorgans 11 und ist gegenüber diesem mittels zweier in zylindrischen Bohrungen des Abstützorgans geführter Bolzen 24 derart linear beweglich geführt, daß er radial zur Bearbeitungssachse 3 verschiebbar ist. Eine den

Andruckschuh 20 in Richtung auf das Werkstück drückende bzw. von diesem weg bewegende Andruckeinrichtung hat als Stellantrieb bzw. Aktor zwei gegen die Kraft einer Feder 23 in Richtung Werkstück vorschiebbare, mit dem Bolzen identische Hydraulikkolben 24, die über eine Hydraulikleitung 25 mit Fluiddruck beaufschlagbar sind. Übersteigt der hydraulische Druck den durch die Feder aufgebrachten Gegendruck, so wird der Andruckschuh zum Werkstück vorgeschoben, bei schwächerem Hydraulikdruck wird der Schuh durch die Rückfeder 23 vom Werkstück abgehoben, ggf. bis er mit seiner ebenen Rückseite am als Anschlag dienenden Grund der ihn aufnehmenden Rechteckausnehmung 17 anliegt.

[0031] Obwohl zum Erzeugen der Anpreßkraft ein oder mehrere hydraulisch beaufschlagbare Kolben bevorzugt sind, können prinzipiell auch beliebige andere Aktoren, wie z.B. Piezotranslatoren oder Hubmagnete eingesetzt werden. Anstatt des gezeigten, zentrisch angreifenden Aktors, der einen in Axialrichtung im wesentlichen gleichmäßigen Anpreßdruck des Schuhs 20 bewirkt, können zur Erzeugung eines in Axialrichtung variierenden Anpreßdruckes eines Andruckelementes auch mehrere in axialer Richtung versetzt angeordnete und/oder angreifende, unabhängig voneinander betreibbare Stellantriebe vorgesehen sein, die unterschiedliche Kräfte erzeugen können, um die Höhe des Materialabtrages in axialer Richtung des Werkstückes gesteuert beeinflussen zu können. Ein entsprechender Andruckschuh kann beispielsweise in seinem zugeordneten Abstützorgan um eine etwa tangential zur Werkstückoberfläche und senkrecht zur Werkstückklängsrichtung (Achse 3) verlaufende vertikale Schwenkachse schwenkbar gelagert sein.

[0032] Der diametral zur Bearbeitungssachse 3 gegenüberliegende, spiegelbildliche Andruckschuh 19 ist in analoger Weise durch Wechselspiel zwischen Hydraulikdruck und Federkraft andrückbar bzw. zurückziehbar, wobei die Ansteuerung über eine von der Leitung 25 separate Hydraulikleitung 26 unabhängig von der Ansteuerung des Schuhs 20 ist. Damit ist eine Anordnung mit zwei um 180° umfangsversetzten, separat bzw. unabhängig voneinander betätigbaren Andruckelementen geschaffen. Bei anderen Ausführungsformen sind pro Abstützelement mehrere, insbesondere zwei unabhängig voneinander betätigbare Andruckelemente vorgesehen. Auch Ausführungen mit nur einem Abstützorgan oder mit mehr als zwei, beispielsweise drei oder vier, insbesondere gleichmäßig um den Werkstückumfang verteilten Abstützorganen sind möglich.

[0033] Der Andruckschuh 20 drückt bei der Darstellung in Fig. 1 ein durch eine Bandführung 30 in den Bereich des Andruckschuhs geführtes Schleifband 31 an die Werkstückoberfläche an. Die Bandführung hat für jedes Andruckelement ein Paar von im wesentlichen tangential zur Werkstückoberfläche und senkrecht zur Achse 3 vertikal verlaufenden, auch in Fig. 2 gut zu erkennenden, ovalen Bandführungsöffnungen 32, 33, die

sich jeweils vertikal von der vertikalen Oberseite bzw. Unterseite des Abstützorganes bis in den Bereich des Andruckelementes 20 erstrecken und die werkstückseitig zwischen Andruckelement und den zugeordneten

- 5 Führungsleisten 15 bzw. 16 im Bearbeitungsbereich münden. Das Finishband kann durch diese Ausnehmungen in der Schale so geführt werden, daß die Stützleisten 15, 16 direkt auf dem Werkstück 1 aufliegen können und nicht durch Finishband unterlaufen werden. In
- 10 Fig. 2 ist zu erkennen, daß die axiale Breite der Führungsöffnungen 32, 33 weniger als halb so breit ist wie die axiale Breite einer Abstützorgan/Andruckelementkombination bzw. die dieser Breite entsprechende Breite des Schleifbandes. Durch die dreifach gestrichelt gezeichnete Aufweitung des Schleifbandes imöffnungsbereich wird angedeutet, daß das Band 31 in den ovalen Bereichen, in denen es durch die Öffnungen geführt wird, U-förmig eingeschlagen wird, wobei die glatte Seite außen und die Schleifseite innen liegt. Im Bereich der
- 15 mit Abstand oberhalb bzw. unterhalb der Bandführungsöffnungen 32, 33 angeordneten, walzenförmigen Umlenkelemente 34, 35 und im Bereich des Andruckelementes 20 hat das Band dann wieder seine in Axialrichtung gerade, voll entfaltete Form eingenommen. Der Bandverlauf zwischen den Umlenkrollen 34, 35 ist im wesentlichen geradlinig, was einen störungsfreien Betrieb fördert.
- 20
- 25

- [0034] Bei der gezeigten Ausführungsform werden die beiden unabhängig voneinander hydraulisch betätigbaren Andruckssegmente 19, 20 von dem gleichen Typ von Schleifband unterlaufen. Es ist jedoch möglich, auf der linken und der rechten Seite getrennte Schleifbänder, insbesondere mit unterschiedlicher Körnung einzusetzen. Damit ist die Vor- und Fertigbearbeitung eines Werkstückes in einem Arbeitsgang möglich, indem beispielsweise zunächst bei abgehobenem linken Andruckelement 19 ein Finishband grober Körnung durch das rechte Andruckelement 20 angedrückt wird, danach dann dieses druckentlastet wird, so daß es
- 30
- 35
- 40
- 45

- durch die Kraft der Feder 23 vom Finishband abgehoben wird, und daß anschließend durch das linke Andruckelement 19 ein Schleifband feinerer Körnung zur Fertigbearbeitung angedrückt wird. Anschließend kann, wie bereits erwähnt, auch das linke Finishband druckentlastet werden, so daß bei weiter drehender Kurbelwelle nur die Führungsteile noch auf der Werkstückoberfläche abgleiten und diese ggf. noch durch Materialverdrängung glätten und/oder verfestigen können.
- 50
- 55

- [0035] Insbesondere ist es auch möglich, bei abgehobenem Andruckelement das zugeordnete Schleifband nachzuziehen, ohne vorher das Werkstück stillsetzen oder die Vorrichtung öffnen zu müssen. Hierdurch ergibt sich ein erheblicher Zeitvorteil, der sich insbesondere beim Bearbeiten harter Werkstücke und/oder Werkstücken mit großen Rundheitsfehlern bemerkbar macht, wo relativ viel Werkstoff abgetragen werden muß.
- [0036] Mit der gezeigten Ausführungsform kann der Feinbearbeitungsprozeß meßwertgesteuert durchge-

führt werden. Hierzu weist die Vorrichtung mindestens einen während des Bearbeitungsvorganges betreibbaren, zur Abgabe von Sensorsignalen ausgebildeten Sensor 40 zur Erfassung der Form und/oder Oberflächenbeschaffenheit der bearbeiteten Werkstückoberfläche auf. Der nur schematisch gezeigte und im Beispiel am rechten Abstützorgan 11 befestigte Sensor, der im angelegten Zustand des Finisharms im Bereich der Symmetrieebene 14 angeordnet und radial zur Oberfläche ausgerichtet ist, kann beispielsweise elektrisch, elektromechanisch, optisch oder mit Hilfe von Fluidstrahlen arbeiten. Obwohl auch die Materialoberfläche berührende Sensoren, wie Taster, möglich sind, werden wegen der Schonung der Oberfläche und des Sensors berührungslos arbeitende Sensoren, beispielsweise Luftstrahlsensoren, bevorzugt. Eine nicht gezeigte Steuereinrichtung kann die Sensorsignale verarbeiten und mindestens einen Stellantrieb, beispielsweise den hydraulischen Aktor 23, 24, vorzugsweise mehrere oder alle Stellantriebe in Abhängigkeit von den Sensorsignalen ansteuern. Dadurch werden die eingangs beschriebenen Vorteile des meßwertgesteuerten Finishens erzielbar.

[0037] Werden beim meßgesteuerten Finishen mehrere in axialer Richtung des bearbeiteten Werkstückabschnittes verteilte Sensoren oder ein entsprechend linear ortsauflösender Sensor eingesetzt, so kann, beispielsweise mit der oben beschriebenen Ausführung eines mit axial variierendem Anpreßdruck beaufschlagbaren Andrückelementes, eine gezielte Formkorrektur des Werkstückes im Axialschnitt durchgeführt werden. Es läßt sich dadurch insbesondere eine unerwünschte Konizität korrigieren oder eine gewünschte Balligkeit erzeugen.

[0038] Die schematische Draufsicht in Fig. 3 zeigt eine Ausführungsform, die es ermöglicht, Formkorrekturen des zu bearbeitenden Werkstückes im Axialschnitt durchzuführen. Die diametralen Andrückelemente 45, 46 sind genau wie diejenigen der Ausführungsform nach Fig. 1 angeordnet und unabhängig voneinander radial auf die Werkstückoberfläche verschiebbar bzw. von dieser abhebbar. Die Andrückelemente sind im Bereich von deren werkstückzugewandten Andrückflächen 48, 49, dazu vorgesehen, ein zwischen Andrückelement und Werkstückoberfläche durchgeführtes Schleifband 43, 44 an die Werkstückoberfläche anzu drücken. Jedes der Andrückelemente hat einen im wesentlichen inkompressiblen, starren, halbschalenförmigen metallischen Körper 50, 51 mit einer werkstückzugewandten Vorderfläche 52, 53, auf der eine dünne Schicht 54, 55 aus einem relativ druckfesten, jedoch elastisch geringfügig komprimierbaren Material, beispielsweise Vulcolan, fest aufgebracht ist.

[0039] Die beschichteten Vorderflächen 52, 53 sind in Umfangsrichtung im wesentlichen zylinderabschnittförmig gekrümmmt, wobei sich dieser Krümmung in einer zur Achse 3 parallelen Axialrichtung eine weitere Krümmung überlagert. Beim oben gezeigten Andrückele-

ment 45 verläuft die kontinuierliche axiale Krümmung symmetrisch zum axialen Mittelbereich 56 derart, daß in Axialrichtung die Vorderfläche konkav vom Werkstück weggekrümmt ist und sich zu den axialen Randbereichen 57, 58 der Werkstückoberfläche kontinuierlich annähert. Beim unteren Andrückelement 46 sind die Verhältnisse umgekehrt und die Vorderfläche 53 verläuft in Axialrichtung zur Werkstückoberfläche hin ge krümmt, so daß die Vorderfläche im Mittelbereich 59 der

5 Werkstückoberfläche näher ist als an beiden axialen Randbereichen 60, 61. Die Schichtdicke des komprimierbaren Materials variiert bei beiden Andrückelementen in axialer Richtung kontinuierlich und ist so gewählt, daß die dem Werkstück bzw. dem Schleifband zuge wandten Andrückflächen der Schichten im wesentlichen zylindrisch, also in Axialrichtung gerade verlaufen. [0040] Es ist somit eine in Axialrichtung entsprechend der Schichtdicke variierende elastische Nachgiebigkeit der Andrückfläche geschaffen. Durch diese Geometrie 10 kann erreicht werden, daß das Schleifband durch das obere Andrückelement mit einem im Mittelbereich 56 relativ schwächeren Anpreßdruck angepreßt wird, der symmetrisch zu beiden axialen Randbereichen 57, 58 kontinuierlich zunimmt. Bei Andrücken dieses Andrückelementes und gleichzeitiger Druckentlastung bzw. Rückziehen des gegenüberliegenden Andrückelementes kann eine gewisse Balligkeit der bearbeiteten Oberfläche erreicht werden, bei der der Durchmesser des Lagerzapfens im Mittelbereich geringfügig größer ist als 15 im Bereich nahe der Kurbelwangen. Bei Andrücken des Schleifbandes mittels des gegenüberliegenden Andrückelementes 46 wird dagegen im Mittelbereich 59 ein vergleichsweise großer Anpreßdruck erzeugt, der symmetrisch zu beiden Randbereichen hin kontinuierlich abnimmt. Hierdurch kann eine ggf. vorliegende Balligkeit vermindert werden.

[0041] Die gezeigte Ausführungsform ermöglicht die beschriebene Formkorrektur der bearbeiteten Werkstückoberfläche durch jeweils ein einziges linear geführ tes Andrückelement, ohne daß dieses in der vorher beschriebenen Weise schwenkbar ausgebildet sein muß. Dadurch ist eine Formkorrektur auch mit relativ einfach aufgebauten Bearbeitungsvorrichtungen möglich. Da infolge der Führungsleisten 15, 16 der entsprechende 20 Gegendruck auch dann gewährleistet ist, wenn gemäß diesem Erfindungsmerkmal nur ein Andrückelement im Schneideinsatz ist oder beide mit unterschiedlicher Andrückung und damit Schneidwirkung arbeiten, kann so manuell oder maßgesteuert oder -geregelt eine Form korrektur auch bezüglich der axialen Kontur erreicht werden. Die Andrückelemente werden somit auf beiden Seiten einzeln oder in bestimmter Andrückkraftabstimmung oder in bestimmter zeitlicher Aufeinanderfolge eingesetzt.

25 [0042] Die Zwischenschaltung einer elastisch nachgiebigen Schicht zwischen dem starren Körper des Andrückelementes und der mit dem Schleifband zusammenwirkenden Andrückfläche hilft dabei zweckmäßig,

Andruckkraftspitzen abzumildern und die durch die Formgebung des starren Körpers vorgegebene Anpreßdruckverteilung zu glätten. Prinzipiell kann die axiale Variation des Anpreßdruckes auch ohne elastische Schichten erreicht werden, beispielsweise durch die direkt auf das Schleifband aufgedrückten Andrückelementkörper 50, 51, wobei dann deren Vorderflächen 52, 53 die Andrückfläche bilden. Es kann auch ausreichen, den axialen Mittel- oder Randbereich der Andrückflächen mit einer kleinen Stufe oder flachen Nut zu versehen, deren Tiefe sehr gering sein kann. So kann z.B. ein mehr oder weniger deutlicher "Absatz" in der bearbeiteten Werkstückfläche erzeugt werden, um bestimmte Bereiche zu beeinflussen. Statt einer um den von den Andrückflächen eingenommenen Umfang umlaufenden Kontur (Nut, Stufe, Krümmung o. dgl.) kann diese auch nur einen Teil des Umfangs einnehmen. So können z. B. an den in Umfangsrichtung liegenden Enden des Andrückelementes Bereiche in der (axialen) Mitte oder dem Rand gegenüber der zylindrischen Andrückfläche etwas vertieft sein.

[0043] Dadurch wird die Bearbeitungsfläche dort verkleinert bzw. der Bearbeitungsdruck variiert.

[0044] Auch eine unterschiedliche Schrägstellung der Andrück- bzw. Bearbeitungsflächen gegenüber der Achsrichtung oder eine andere Unsymmetrie kann nützlich sein, um bewußt entsprechende Werkstückkonturen, z.B. Konizitäten, zu erzeugen oder abzubauen.

[0045] Ggf. kann es ausreichen, auch nur ein Andrückelement entsprechend auszubilden. Andrückelemente mit axial varierender elastischer Nachgiebigkeit der Andrückfläche können auch bei nicht erfindungsgemäßen Vorrichtungen, z.B. mit nur einem Andrückelement, vorteilhaft sein.

[0046] Die durch die Erfindung ermöglichten Vorteile kommen ganz besonders bei der Bearbeitung von exzentrisch umlaufenden Werkstückoberflächen, wie Kurbelwellen-Hubzapfen, zum Tragen, bei denen es dank der Abstützorgane möglich ist, die Massekräfte bzw. Trägheitskräfte über die Abstützorgane abzuleiten und vollständig von den Andrückelementen zu entkoppeln, die unabhängig von den Abstützorganen mit normalerweise deutlich geringerem Anpreßdruck als die Abstützorgane gegen das zu bearbeitende Werkstück andrückbar sind. Dadurch, daß die Andrückelemente vollständig von Führungsaufgaben befreit sind, können diese in der beschriebenen, variablen Weise angedrückt oder abgehoben werden, um das gewünschte Bearbeitungsergebnis schnell und mit hoher Güte zu erzielen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Feinbearbeitung einer im wesentlichen zylindrischen Werkstückoberfläche, insbesondere Werkstückaußenfläche, eines Werkstückes mit folgenden Schritten:

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Andrücken mindestens eines sich direkt an der Werkstückoberfläche abstützenden Abstützorgans an die Werkstückoberfläche;

Bereitstellung von mindestens zwei in Umfangsrichtung der Werkstückoberfläche versetzt angeordneten, sich an einem Abstützorgan abstützenden, unabhängig voneinander betätigbaren Andrückelementen zum Andrücken von Feinbearbeitungsmittel, insbesondere Schleifband, an die Werkstückoberfläche; Relativbewegung von Werkstück und Feinbearbeitungsmittel; Betätigung der Andrückelemente derart, daß wahlweise kein Andrückelement, ein Andrückelement oder mehrere Andrückelemente Feinbearbeitungsmittel an die Werkstückoberfläche andrücken.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch mindestens zwei unterschiedliche, vorzugsweise voneinander unabhängig betätigbare Andrückelemente nach Art und/oder Abtragcharakteristik unterschiedliche Feinbearbeitungsmittel angedrückt werden, insbesondere Schleifbänder unterschiedlicher Körnung.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ohne Unterbrechung der Relativbewegung und/oder ohne Abheben des Abstützorgans von der Werkstückoberfläche zuerst durch ein erstes Andrückelement ein erstes Feinbearbeitungsmittel angedrückt wird, daß danach das erste Andrückelement druckentlastet, insbesondere zurückgezogen wird und daß danach durch ein zweites Andrückelement ein zweites Feinbearbeitungsmittel angedrückt wird, das vorzugsweise eine feinere Abtragscharakteristik hat als das erste Feinbearbeitungsmittel.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Andrückelement während der Feinbearbeitung zwischen Andrückphasen zeitweise unter Aufhebung von Anpreßdruck zurückgezogen wird, wobei vorzugsweise während einer Phase mit zurückgezogenem Andrückelement das zugeordnete Feinbearbeitungsmittel ersetzt wird, wobei insbesondere unverbrauchtes Schleifband in den Bereich des Andrückelementes gebracht wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei mindestens einem Andrückelement, vorzugsweise bei mindestens zwei voneinander unabhängig betätigbaren Andrückelementen, Feinbearbeitungsmittel, insbesondere Schleifband, mit einem in Axialrichtung des Werkzeuges, vorzugsweise kontinuierlich, variierenden Anpreßdruck und/oder mit in Axialrich-

tung, vorzugsweise kontinuierlich, variierender Abtragsleistung an die Werkstückoberfläche angedrückt wird, wobei vorzugsweise durch mindestens ein Andrückelement Feinbearbeitungsmittel derart angedrückt wird, daß der Anpreßdruck und/oder die Abtragsleistung in axialer Richtung verändert wird, insbesondere von einem Mittelbereich des zugeordneten Bearbeitungsabschnittes zu axialen Randbereichen des Bearbeitungsabschnittes, vorzugsweise kontinuierlich und/oder symmetrisch zum Mittelbereich zunimmt oder abnimmt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine elastische Nachgiebigkeit einer Andrückfläche des Andrückelements von einem Mittelbereich des zugeordneten Bearbeitungsabschnittes zu axialen Randbereichen des Bearbeitungsabschnittes, vorzugsweise kontinuierlich und/oder symmetrisch zum Mittelbereich zunimmt oder abnimmt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Andrückelement zur Feinbearbeitung mit wechselndem Anpreßdruck, insbesondere pulsierendem Anpreßdruck, beaufschlagt wird, wobei vorzugsweise mehrere oder alle Andrückelemente mit pulsierendem Anpreßdruck beaufschlagt werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei Aufrechterhaltung der Relativbewegung alle Andrückelemente derart druckentlastet, insbesondere zurückgezogen werden, daß nur das Abstützorgan auf die Werkstückoberfläche aufgedrückt ist.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Form und/oder Oberflächenbeschaffenheit der bearbeiteten Werkstückoberfläche während der Relativbewegung mittels mindestens einer Sensorsignale abgebenden Sensoreinrichtung erfaßt werden und daß der Anpreßdruck mindestens eines Andrückelementes in Abhängigkeit von den Sensorsignalen gesteuert wird, wobei vorzugsweise an relativen radialen Hochpunkten einer Werkstückoberfläche ein Andrückelement mit höherem Anpreßdruck beaufschlagt wird und/oder an relativen radialen Tiefpunkten ein Andrückelement druckentlastet wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei mehreren in Axialrichtung des Werkstücks aufeinanderfolgenden Bearbeitungsabschnitten mit unabhängig meßwertabhängig ansteuerbaren Andrückelementen in mindestens einem Bearbeitungsabschnitt Andrückelemente bei Erreichen eines vorgebbaren Bearbeitungsergebnisses druckentlastet, insbesondere zurückgezogen werden, während Andrückelemente in anderen Bearbeitungsabschnitten weiterhin angedrückt werden.

11. Vorrichtung zur Feinbearbeitung einer im wesentlichen zylindrischen Werkstückoberfläche, insbesondere Werkstückaußenfläche eines Werkstücks (1) mittels Feinbearbeitungsmittel, insbesondere Bandfinishvorrichtung, mit mindestens einem zur direkten Abstützung an der Werkstückoberfläche ausgebildeten Abstützorgan (10, 11); mindestens zwei in Umfangsrichtung versetzt angeordneten, sich an einem Abstützorgan abstützenden, voneinander unabhängig betätigbaren Andrückelementen (19, 20; 45, 46) zum Andrücken des Feinbearbeitungsmittels (31; 43, 44) an die Werkstückoberfläche und Mitteln zur Erzeugung einer Relativbewegung zwischen Werkstückoberfläche und Feinbearbeitungsmittel.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere gleichmäßig um den Umfang verteilte Abstützorgane (10, 11) vorgesehen sind, wobei vorzugsweise jedem Abstützorgan mindestens ein, vorzugsweise nur ein Andrückelement (19, 20; 45, 46) zugeordnet ist und/oder daß zwei diametral zu einer Bearbeitungssachse (3) gegenüberliegend, vorzugsweise im wesentlichen spiegelsymmetrisch zu einer Spiegelebene (14) der Vorrichtung anordnbare Abstützorgane (10, 11) vorgesehen sind.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein Abstützorgan (10, 11) mindestens ein, vorzugsweise mehrere, insbesondere auswechselbar an einem Körper des Abstützorgans anbringbare, Abstützelemente (15, 16) zur direkten Abstützung an der Werkstückoberfläche aufweist, vorzugsweise die Abstützelemente als axiale Führungsleisten (15, 16) ausgebildet sind.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Abstützorgan, insbesondere das Abstützelement (15, 16), eine zum Berührungskontakt mit der Werkstückoberfläche vorgesehene Abstützfläche hat, die im wesentlichen glatt und/oder nicht-abrasiv ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein, vorzugsweise nur ein in Umfangsrichtung dem Andrückelement (19, 20; 45, 46) vorgeschaltetes und mindestens ein, vorzugsweise nur ein dem Andrückelement nachgeschaltetes Abstützelement (15 bzw. 16) vorgesehen ist, wobei vorzugsweise die Abstützelemente symmetrisch zum Andrückelement angeordnet sind.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstützbereiche, insbesondere Abstützelemente (15, 16) eines Abstützorgans einen Umfangs-Winkelabstand haben, der zwischen 90° und 150°, insbesondere zwischen 100° und 130°, vorzugsweise ca. 120° beträgt.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß ein Andrückelement eine, vorzugsweise zylindrisch gekrümmte, Andrückfläche (21) fest vorgegebener Form bildet, die der gewünschten Form der fertig bearbeiteten Werkstückoberfläche angepaßt ist und/oder daß ein Andrückelement eine Andrückfläche (21; 48, 49) hat, die einen Umfangswinkel von mehr als 60°, vorzugsweise zwischen 70 und 90°, insbesondere ca. 80° einschließt und/oder daß ein Andrückelement eine starre Andrückfläche, insbesondere aus Hartmaterial, oder eine elastisch nachgiebige Andrückfläche, insbesondere aus elastischem Material, oder eine Andrückfläche mit einer Kombination von harten und elastisch nachgiebigen Bereichen hat.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Andrückelement eine Vorderfläche (52, 53) hat, die in axialer Richtung eine sich ändernde Kontur hat, insbesondere bzgl. Durchmesser, wirksamer Bearbeitungsfläche und/oder Elastizität, wobei vorzugsweise der Vorderfläche (52, 53) einer im wesentlichen zylindrischen Krümmung in Umfangsrichtung ein Verlauf überlagert ist, der von einem zur Werkstückachse achsparallelen Verlauf abweicht, insbesondere eine Krümmung in Axialrichtung bildet, wobei ggf. die Krümmung in Axialrichtung kontinuierlich und/oder symmetrisch zu einem axialen Mittelbereich der Vorderfläche verläuft, wobei vorzugsweise bei mindestens einem Andrückelement (46) die Krümmung in Axialrichtung zur Werkstückoberfläche konvex verläuft und/oder daß bei mindestens einem Andrückelement (45) die Krümmung in Axialrichtung von der Werkstückoberfläche weg konkav verläuft.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Vorderfläche (52, 53) eine Schicht (54, 55) aus elastisch nachgiebigem Material angeordnet ist, deren Schichtdicke in Axialrichtung, vorzugsweise kontinuierlich und/oder symmetrisch zu einem Mittelbereich, variiert, wobei die Schicht vorzugsweise eine im wesentlichen zylindrische Andrückfläche (48, 49) bildet.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Andrückelement (46) mit einer in Axialrichtung konvex gekrümmten Vorderfläche (53) und mindestens ein

unabhängig von diesen betätigbares Andrückelement (45) mit einer in Axialrichtung konkav gekrümmten Vorderfläche (52) vorgesehen ist.

5 21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß ein Andrückelement (19, 20) an und/oder in dem zugeordneten Abstützorgan (10, 11) linear beweglich geführt ist, vorzugsweise derart, daß es in einer radial zur Werkstückoberfläche verlaufenden Richtung verschiebbar ist, und/oder daß die Vorrichtung mindestens einen an dem Andrückelement (20) und dem zugeordneten Abstützorgan (21) angreifenden, vorzugsweise hydraulischen, Stellantrieb (23, 24) zur Erzeugung einer Relativbewegung von Andrückelement und Abstützorgan aufweist.

10 22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß das Feinbearbeitungsmittel mindestens ein Schleifband (31; 43, 44) aufweist, das relativ zu dem Andrückelement beweglich ist.

15 23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß zur Führung von Schleifband (31) in den oder aus dem Bereich eines Andrückelements (20) eine Bandführung (30) vorgesehen ist, die Bandführungsöffnung (32, 33) aufweist, die in Umfangsrichtung zwischen einem Andrückelement (20) und zugeordneten Abstützbereichen, insbesondere Abstützelementen (15, 16), angeordnet sind, wobei vorzugsweise eine Bandführungsöffnung (32, 33) im wesentlichen tangential zur zylindrischen Werkstückoberfläche verläuft und/oder daß eine, vorzugsweise ovale, Bandführungsöffnung einen axialen Durchmesser hat, der geringer ist als eine axiale Breite eines zugeordneten Andrückelementes udn/oder Schleifbandes.

25 24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß sie mindestens eine während der Relativbewegung betreibbare, zur Abgabe von Sensorsignalen ausgebildete, vorzugsweise berührungslos arbeitende Sensoreinheit (40) zur Erfassung der Form und/oder Oberflächenbeschaffenheit der bearbeiteten Werkstückoberfläche aufweist, wobei vorzugsweise die Vorrichtung eine zur Verarbeitung des Sensorsignals ausgebildete Steuereinrichtung aufweist, durch die mindestnes ein Stellantrieb (23, 24) für ein Andrückelement in Abhängigkeit von dem Sensorsignal ansteuerbar ist.

30 35 40 45 50 55 55 55

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß eine Axialbewegungseinrichtung zur Erzeugung einer kurzhubig oszillierenden axialen Relativbewegung zwischen Werkstück und einem mit mindestens einem An-

drückelement versehenem Abstützorgan vorgesehen ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

12

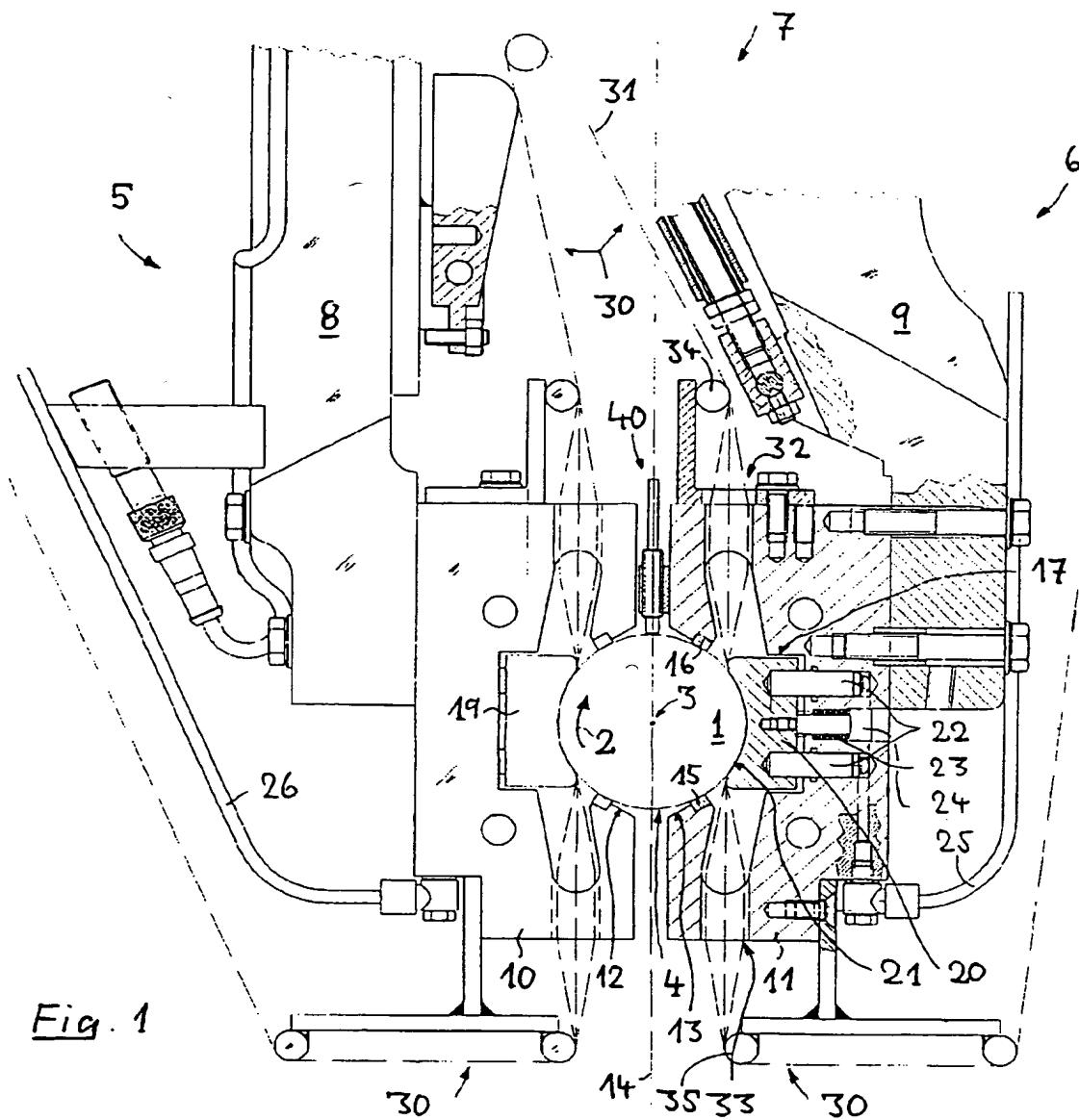


Fig. 1

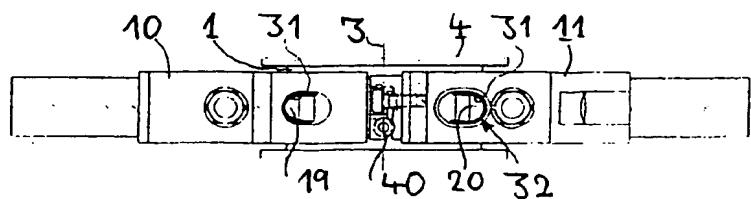


Fig. 2

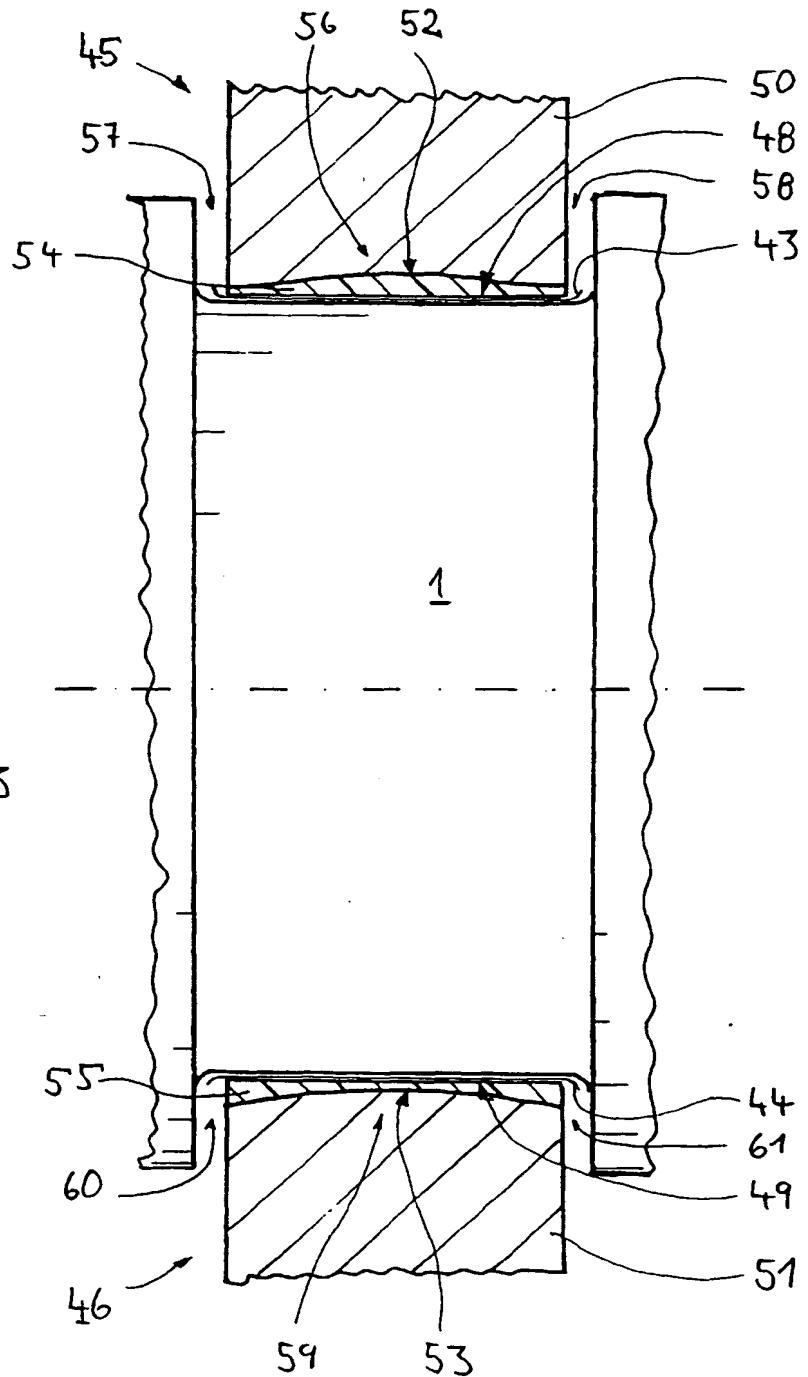


Fig. 3



Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 99 12 1202

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl7)
X	US 5 664 991 A (BARTON II) 9. September 1997 (1997-09-09) * Spalte 6, Zeile 9 - Zeile 18 * ---	1-4, 10-15	B24B35/00 B24B5/42 B24B21/02
A	US 4 979 335 A (WEBER ET AL.) 25. Dezember 1990 (1990-12-25) * Zusammenfassung; Abbildung * ---	6,16,17, 19	
A	WO 96 20068 A (MARPOSS APP ELETT ;FALCHIERI GIORDANO (IT)) 4. Juli 1996 (1996-07-04) * Zusammenfassung; Abbildungen * ---	9,24	
A	US 5 522 762 A (PINEAU) 4. Juni 1996 (1996-06-04) * Zusammenfassung; Abbildungen * ---	1,10	
D,A	DE 30 08 606 A (NAGEL PETER:NAGEL WOLF) 10. September 1981 (1981-09-10) * das ganze Dokument * -----	1,10	
RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int.Cl.7)			
B24B			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenan	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	4. Februar 2000	Garella, M	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 99 12 1202

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterichtung und erfolgen ohne Gewähr.

04-02-2000

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5664991	A	09-09-1997	US	5863239 A		26-01-1999
US 4979335	A	25-12-1990	DE	3813484 A		02-11-1989
			EP	0338224 A		25-10-1989
WO 9620068	A	04-07-1996	IT	80940578 A		27-06-1996
			EP	0800439 A		15-10-1997
			JP	10511317 T		04-11-1998
			US	5857895 A		12-01-1999
US 5522762	A	04-06-1996	FR	2702693 A		23-09-1994
			DE	69410527 D		02-07-1998
			DE	69410527 T		17-09-1998
			EP	0624431 A		17-11-1994
			ES	2116549 T		16-07-1998
			JP	7052005 A		28-02-1995
DE 3008606	A	10-09-1981		KEINE		

EPO FORM P-461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

## Method and apparatus for finishing cylindrical workpieces

**Patent number:** EP0997229  
**Publication date:** 2000-05-03  
**Inventor:** RENZ BERND DR (DE); NAGEL WOLF (DE)  
**Applicant:** NAGEL MASCHINEN UND (DE)  
**Classification:**  
- **international:** B24B35/00; B24B5/42; B24B21/02  
- **european:** B24B5/42, B24B21/02, B24B21/06, B24B35/00  
**Application number:** EP19990121202 19991023  
**Priority number(s):** DE19981050216 19981031

**Also published as:**

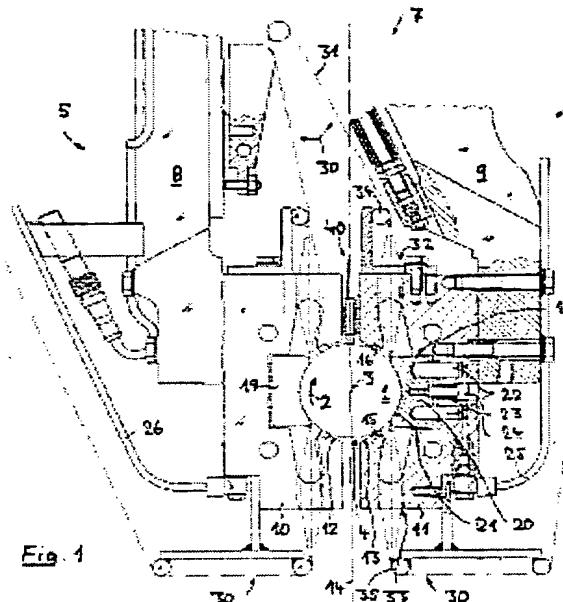
DE19850216 (A)  
EP0997229 (B1)

**Cited documents:**

US5664991  
US4979335  
WO9620068  
US5522762  
DE3008606

**Abstract of EP0997229**

The fine machining machine-tool, especially band finishing appliance has at least one support element (10,11) for directly supporting it on the workpiece surface (1). At least two separately operated pressure elements (19,20) positioned in a staggered formation in a peripheral direction are supported on one support element. The pressure elements press the fine machining tool against the workpiece surface.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**